图书情报工作
第 64 卷 第 24 期 2020 年 12 月

科研论文颠覆性指数的改进及其影响因素研究*

■ 刘小慧[1,2] 沈哲思[1] 廖宇[1,2] 杨立英[1,2]

[1] 中国科学院文献情报中心 北京 100190 [2] 中国科学院大学经济与管理学院图书情报与档案管理系 北京 100190

摘 要：[目的/意义]解决颠覆性指数在数学性质上存在的不一致性问题，并探讨颠覆性指数在应用中的影响因素。[方法/过程]首先指出颠覆性指数 D 的不一致性表现，然后对其改进得到相对性颠覆性指数 $Rela_D_Z$ 和绝对性颠覆性指数 D_Z；最后从引文时间窗、学科差异和文献类型 3 个角度，分析影响颠覆性指数差异的因素。[结果/结论] $Rela_D_Z$ 算法解决了 D 关于 N_R 非单调的问题，D_Z 算法解决了 D 关于 N_F、N_B 不严格单调的问题，从而避免了不一致性；将颠覆性指数的相对性与绝对性两个算法结合，在应用中将更加合理。此外，颠覆性指数 $Rela_D_Z$ 和 D_Z 受引文时间窗、学科和文献类型的影响，因此，在应用时应进行必要的处理。

关键词：颠覆性指数 创新性 不一致性 科研评价 引文分析
分类号：G250.2
DOI：10.13266/j.issn.0252-3116.2020.24.010

1 引言

随着科学研究的不断发展，科研评价方法不断朝着更加公平、合理的方向演变，其核心经历了从关注数量到质量和数量并重、从关注影响力到关注创新性的演化历程[1]。科研论文的创新性和新颖性逐渐得到重视，并成为评价研究的热点。

目前针对创新性的测度研究主要可以分为 3 类：第一类研究从知识组合的角度定义创新性或新颖性。比如 B. Uzzi 等[2]、Y. Lee 等[3]、J. Wang 等[4]和 Y. He 等[5]从参考文献所属期刊的非典型组合的角度度量新颖性；K. Boyack 等[6]、R. Klavans 等[7]等从学科组合的角度定义创新，构建学科地图，并通过相关学科的学科距离进行度量；N. Carayol 等[8]、王艳艳等[9]、逯万辉等[10]、沈阳[11]和杨建林等[12]依据关键词、文本内容，从共词和文本语义的角度测量论文的新颖性。第二类研究从时间的角度定义新颖性。比如 S. Mishra 等[13]、M. Packalen 等[14]和 E. Callaway[15]等通过概念年龄衡量文章的新颖性，即文中涉及的概念被提出的时间越晚，研究内容就相应越新颖。第三类研究利用引文结构测度创新，如 D. Trapido[16]、R. Funk 等[17]和 L. Wu 等[18]从后续引用研究的角度，通过局域引用结构衡量论文对以往知识的替代作用和对以后论文的影响程度，并以此定义颠覆性。

颠覆性指数作为衡量创新性的一个重要指标，自提出以来受到了科学计量界学者们的广泛关注，同时也指出了其存在的不一致性问题。本文针对颠覆性指数的不一致性提出改进算法，并对改进后的颠覆性指数的应用效果和影响因素进行系统的分析。

2 颠覆性指数的相关研究

目前国内外关注度较高的创新测度指标是颠覆性指数 D(Disruption Index)[18]，已有学者对该指标展开了详细的探索。一部分研究是对颠覆性指数的应用，如 L. Bornmann 等[19]应用 D 算法计算了 *Scientometrics* 期刊从 2000 至 2010 年间发表论文的颠覆性指数，发现该期刊论文的颠覆性指数集中在 0 左右，只有极少数论文有较大的差异。L. Bornmann 等还对颠覆性指

* 本文系国家自然科学基金项目“基于知识网络的创新性度量研究”(项目编号:71974017)研究成果之一，受“中国科学院文献情报中心成立七十周年主题论坛与纪念文集出版”项目资助出版。

作者简介：刘小慧(ORCID:0000-0002-7233-7820)，博士研究生；沈哲思(ORCID:0000-0001-8414-7912)，副研究员，博士，通讯作者，E-mail:shenzhs@mail.las.ac.cn；廖宇(ORCID:0000-0002-5117-4356)，博士研究生；杨立英(ORCID:0000-0001-5539-9934)，研究员，博士，博士生导师。

收稿日期：2020-09-03 修回日期：2020-12-21 本文起止页码：84-91 本文责任编辑：王传清

数 D 的计算需求进行探索，分析 4 篇来自不同学科的论文，发现颠覆性指数取决于引文时间窗[20]，至少需要 3 年才能趋于稳定。此外，还有一部分研究针对颠覆性指数 D 的算法进行探索。如 L. Bornmann 等针对颠覆性指数算法 D 能否真正度量颠覆性的问题进行改进，提出了一族新的颠覆性指数算法 DI_n[21]，并应用 DI_5 重新计算了 *Scientometrics* 期刊论文的颠覆性指数，与先前 D 算法的结果进行对比[22]，发现 DI_5 更能识别引起学科领域内研究人员注意的颠覆性研究成果。Q. Wu 等应用原颠覆性指数算法中的元素，提出了 4 个类似指标，发现了 3 种相对合理的算法可以用于计算颠覆性指数[23]。

但是，现有研究基本不涉及颠覆性指数的性质或在应用过程中的影响因素，即使有学者探究颠覆性指数的稳定时间窗，也仅用了 4 篇论文作为分析样本，这在统计学中不具一般性，结论缺乏代表性。

2.1 颠覆性指数概念介绍

颠覆性指数 D 最初由 R. Funk 等[17]提出并应用于专利，2019 年 L. Wu 等[18]将该指数拓展于论文、计算机程序的计算，并发现小团队的研究成果更具颠覆性、大团队更具发展性的科学活动规律，该发现被作为 *Nature* 的期刊封面文章刊出。颠覆性指数的计算方法如式(1)所示：

$$D = p_F - p_B = \frac{N_F - N_B}{N_F + N_B + N_R} \quad 式(1)$$

式(1)中，所有统计量的统计时间节点均是指焦点论文(即被评价的论文)发表之后。L. Wu 等把焦点论文发表之后的研究分为 3 类(见图 1)：第一类只引用焦点论文，记为 F 类；第二类既引用焦点论文又引用焦点论文的参考文献，记为 B 类；第三类只引用焦点论文的参考文献，而不引用焦点论文，记为 R 类。基于此，颠覆性指数被定义为 F 类研究和 B 类研究的占比之差。式(1)中，N_F、N_B、N_R 分别指 F 类、B 类和 R 类施引论文的数量。

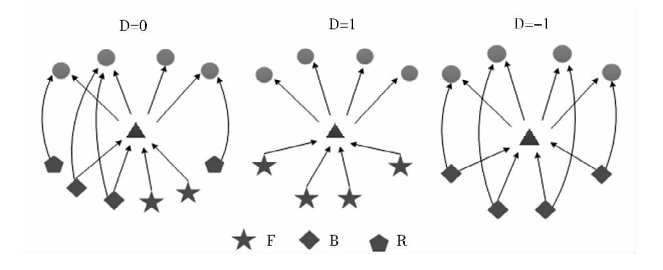


图 1　颠覆性指数概念示意

D 的取值范围是[－1,1]。D>0，表示焦点论文偏颠覆性；D<0，表示焦点论文偏发展性。当 $N_B = N_R = 0$ 时，D=1，表示焦点论文完全颠覆原有研究；当 $N_F = N_R = 0$ 时，D=－1，表示焦点论文完全发展、巩固了原有研究。当 $N_F = N_B$ 时，D=0，表示焦点论文中立。

虽然颠覆性指数得到了广泛的响应与认可，但是经研究发现，该指数在数学性质上存在不一致性，导致在实际应用中可能会出现不准确的结论。

2.2 颠覆性指数的不一致性

“不一致性”是社会心理学中“认知相符理论”[24]的一个对立概念。在科学计量学中，不一致性可以理解为：在一个指标中，随着自变量的改变，因变量发生的变化与人的直观期望相悖。目前计量学界的国内外学者对于不一致性指标已经有了部分研究，如 AI 指数[25]、H 指数[26]、期刊影响因子[23]的不一致性等。根据 L. Egghe 等的研究，不一致性包括不满足单调性和相对独立性[27]两种。

颠覆性指数的不一致性是指关于 N_R 不满足单调性。S. Wu 等最早在虚拟个例层面指出了该指标存在不一致性的表现[28]，但是，并未系统揭示原因，且没有给出解决方法。

颠覆性指数 D 关于 N_R 不满足单调性是指，当 $N_F > N_B$ 时，D 关于 N_R 单调递减，而当 $N_F < N_B$ 时，D 关于 N_R 单调递增，当 $N_F = N_B$ 时，却又关于 N_R 非单调，如表 1 所示。在颠覆性指数的计算公式中，N_R 的含义是“在焦点论文发表之后，只引用焦点论文的参考文献、不引用焦点论文的施引文献数量”。这类施引文献是对参考文献的继承或发展，体现的是参考文献而不是焦点论文的重要性，所以根据直观判断，N_R 越大，焦点论文的颠覆性越小。但是，当 $N_F < N_B$ 时，由于 D 关于 N_R 单调递增，颠覆性指数会随 N_R 类引文的增加而变大，便出现了颠覆性指数 D 的不一致性。

表 1　颠覆性指数关于 N_R 的不一致性举例

N_F 和 N_B 相对关系	焦点论文	N_F	N_B	N_R	D	D 关于 N_R 的单调性
$N_F > N_B$	A	90	10	0	0.8	单调递减
	B	90	10	100	0.4	
$N_F < N_B$	C	10	90	0	－0.8	单调递增
	D	10	90	100	－0.4	
$N_F = N_B$	E	10	10	0	0	非单调
	F	10	10	100	0	
	G	90	90	100	0	

表 1 通过举例体现颠覆性指数 D 关于 N_R 的不一致性。数学上，颠覆性指数 D 关于 N_R 的求导结果如式(2)所示：

$$\frac{\partial D}{\partial N_R}=\frac{N_B-N_F}{N_R{}^2+(2N_B+2N_F)\cdot N_R+N_B{}^2+2N_FN_B+N_F{}^2}$$ 式(2)

由式(2)可知,D 关于 N_R 导数的正负取决于 N_B 和 N_F 的相对大小关系,因此,颠覆性指数 D 的单调性受 N_F 和 N_B 的影响。当 $N_F>N_B$ 时,导数小于 0;当 $N_F<N_B$,导数大于 0。

3 颠覆性指数的改进算法

3.1 颠覆性指数改进算法相关因素界定

L. Wu 等将引文结构中的引文划分为 F 类、B 类、R 类这 3 种类型[18],本文的改进继续借鉴这种替代性的表达思想,所以 3 种类型引文是颠覆性指数改进的重要相关因素。现将各类引文的含义界定如下:对于体现焦点论文的性质而言,F 类引文体现焦点论文颠覆了参考文献,B 类引文说明焦点论文是对参考文献的发展,R 类引文揭示焦点论文对参考文献的继承。即 F 类、B 类和 R 类引文分别代表焦点论文的颠覆性、发展性和继承性。

由于颠覆性指数 D 是依据 N_F 和 N_B 的相对大小关系测度颠覆性,所以本文认为 D 算法下的颠覆性指数是一种"相对"的概念。相应地,本文将仅由 F 类引文体现的颠覆性指数定义为"绝对颠覆性指数"。

3.2 绝对颠覆性指数 D_Z

从"绝对"的角度出发,结合 3 种类型引文的含义,本文基于 3 点对颠覆性指数 D 进行改进:其一,论文的颠覆性仅仅体现于 F 类引文;其二,随着 F 类引文数量的增加,产生 F 类引文的偶然性降低,即由其本质主导,产生 F 类引文的必然性增加,因此颠覆性的增长速率会因 F 类引文的增加而变大,而非变化率不变;其三,由于 R 类引文与焦点论文的研究主题可能存在较大差异,所以 R 类引文对颠覆性指数的影响理应适当小于其他两类引文。基于以上考虑,得到颠覆性指数的改进算法 D_Z,即

$$D_Z=\frac{2N_F{}^2}{2N_F+2N_B+N_R},\quad D_Z\in[0,N_F]$$ 式(3)

D_Z 体现的颠覆性仅由 F 类引文进行度量,得到的是焦点论文的颠覆性特质对科学发展的影响;而算法 D 通过对 F 类引文和 B 类引文进行比较,得到的是在发展性相比之下,焦点论文的颠覆性程度。因此,本文将 D_Z 称为焦点论文的绝对颠覆性指数,将 D 称为相对颠覆性指数。若 $N_F=0$,则绝对颠覆性指数 D_Z 为 0,与其他量无关;而其相对颠覆性 D 可能为负。那么,在 D_Z 算法的设计思想下,如何判断一篇论文的相对颠覆性倾向?

3.3 判断相对颠覆性倾向

由于 D_Z 只度量绝对颠覆性程度,所以"中立"施引文献(即 R 类引文)的存在也会降低颠覆性指数。因此,界定"倾向颠覆"的对立面是"不倾向颠覆"——包括"倾向发展"和"中立"。

假设 $N_R=0$,论文的被引频次记为 C,那么,

(1)当 $N_F<=N_B$ 时,论文不倾向颠覆,此时有:

$$D_Z=\frac{2N_F{}^2}{2N_F+2N_B}\leqslant\frac{N_F{}^2}{N_F+N_F}=\frac{N_F}{2}\leqslant\frac{\frac{C}{2}}{2}=\frac{C}{4},\text{其中 }C=N_F+N_B$$ 式(4)

(2)当 $N_F>N_B$ 时,论文倾向颠覆,此时有:

$$D_Z=\frac{2N_F{}^2}{2N_F+2N_B}>\frac{2N_F{}^2}{2N_F+2N_F}=\frac{N_F}{2}>\frac{\frac{C}{2}}{2}=\frac{C}{4},\text{其中 }C=N_F+N_B$$ 式(5)

(3)由于 R 类引文体现的是继承性,这类引文的存在会使判断相对颠覆的分界线进一步降低,所以当 N_R 为 0 时的相对颠覆分界线,是普通情形下该分界线的最高值,当 N_R 不为 0 时依然适用。

综上(1)(2)(3),C/4 是判断焦点论文相对颠覆性倾向的界限,当 $D_Z=C/4$ 时,焦点论文中立。

3.4 相对颠覆性指数 Rela_D_Z

在 D_Z 设计思想下,为度量论文的相对颠覆性倾向程度,本节以相对颠覆性分界线为标准,将相对颠覆性表示为 D_Z 关于该分界线的相对值,记为 Rela_D_Z。为消除被引频次造成的差异,将其算法表示为:

$$Rela_D_Z=\frac{D_z}{\frac{D}{4}}=\frac{8N_F{}^2}{2C^2+C\cdot N_R},\quad Rela_D_Z\in[0,4]$$ 式(6)

在 D_Z 和 Rela_D_Z 下,表 1 中几篇论文的颠覆性指数如表 2 所示:

表 2 改进指标验证

N_F 和 N_B 相对关系	焦点论文	N_F	N_B	N_R	D_Z	Rela_D_Z	关于 N_R 的单调性
$N_F>N_B$	A	90	10	0	81.00	3.24	单调递减
	B	90	10	100	54.00	2.16	
$N_F<N_B$	C	10	90	0	1.00	0.04	单调递减
	D	10	90	100	0.67	0.03	
$N_F=N_B$	E	10	10	0	5.00	1.00	单调递减
	F	10	10	100	1.43	0.29	

由表 2 可见:在论文 A 与 B、C 与 D、E 与 F 之间,

刘小慧，沈哲思，廖宇，等.科研论文颠覆性指数的改进及其影响因素研究[J].图书情报工作,2020,64(24):84－91.

无论 N_F 和 N_B 的大小关系如何，D_Z 和 Rela_D_Z 均关于 N_R 单调递减，满足了一致性。

3.5 改进效果验证

本小节通过美国物理学会(American Physical Society, APS)旗下期刊论文和评选出的里程碑式(Milestone)论文为例对改进效果进行验证。美国物理学会主办期刊 Physical Review 系列是国际物理学界的重要期刊，其中 *Physical Review Letter*(*PRL*)为物理学界公认的顶级期刊，主要刊载对物理学界有重大影响的前沿工作。在 2008 年美国物理学会成立 50 周年时，由 APS 编委会遴选了一批 APS 里程碑式论文。本文共获得 APS 论文 548 133 篇、PRL 论文 115 648 篇、Milestone 论文 75 篇；以这 3 个数据集为例，验证颠覆性指数的改进效果。

3 个数据集在不同算法下的颠覆性指数排名的均值如表 3 所示。根据数据集的特点，APS 论文、PRL 论文、Milestone 论文的平均质量逐步变高，所以其颠覆性排序也应逐渐提高。由表 3 可知，在 Rela_D_Z 和 D_Z 算法下，3 个数据集均呈现出上述的相对变化，而 D 算法下，PRL 论文的排名呈现下降的结果，与直观判断不符。同时对于 Milestone 论文，在颠覆性指数算法 D_Z 和 Rela_D_Z 算法下，其排序相比于 D 算法有了非常大的提升。

表 3　APS 论文、PRL 和 Milestone 论文在不同算法下的颠覆性指数平均排序(百分位)

数据集	Rela_D_Z	D_Z	D
APS 论文	50.0%	50.0%	50.0%
PRL 论文	39.1%	37.8%	53.5%
Milestone 论文	11.5%	4.1%	32.1%

与原颠覆性指数 D 不同的是，在改进过程中，提供了绝对性角度的颠覆性指数算法 D_Z，这种算法可单独使用，适用于考察焦点论文的颠覆性特性对科学发展的影响程度及推动作用的情形，这种算法不同于 R. Funk 提到的被引频次的简单乘积[17]。

综上所述，Rela_D_Z 是 D 关于 N_R 不满足单调性的改进，且 Rela_D_Z 与 D 均属于颠覆性指数相对性角度的度量算法，适用于仅关注焦点论文自身颠覆倾向性(倾向颠覆或倾向发展)，而不关注其颠覆性影响规模的情形。D_Z 是 D 改进的过程产物，提供了一种新的度量颠覆性的视角，反映焦点论文的颠覆性属性在科学界中的影响规模，可单独使用，其适用情形与相对性角度相反，且 D_Z 关于 N_R 单调、关于 N_F、N_B 严格单调，属于颠覆性指数绝对性角度的度量算法。综合运用 Rela_D_Z 和 D_Z，可以更全面、合理地揭示焦点论文的颠覆性水平。

4 颠覆性指数 D_Z 和 Rela_D_Z 的影响因素

引文类指标通常会受时间窗、文献类型的影响。同时，由于各个学科的知识特点、研究性质、引用行为不同等原因，引文指标在不同学科之间也会存在一定差异。本节就引文时间窗、学科差异和文献类型对颠覆性指数 D_Z 和 Rela_D_Z 的影响进行探讨，以期提供合理使用颠覆性指数的应用建议。

4.1 引文时间窗

颠覆性指数依赖于引文，是动态指标。由于引文的积累需要一定的时间，所以在论文的被引量相对稳定后，才可以计算出更加接近论文真实水平的颠覆性指数。由于不同学科的论文其被引量趋于相对稳定的时间存在差异，因此，计算不同学科颠覆性指数时，也应有各自合理的时间窗。本文选用动态引文时间窗(即引文窗)来考察不同学科中引文窗对 D_Z 和 Rela_D_Z 指标的影响。同时，以被引频次随引文窗的变化趋势作为对比，进行分析。

为此，本节选取 Web of Science 库中 2007 年 SCI 论文作为焦点论文，参考文献最早追溯到 1900 年，先后计算了引文窗为 2 年、4 年、6 年、8 年和 10 年时的颠覆性指数。由于计算机科学、工程科学领域会议论文占比高，更多收录于 CPCI；经济与商业、社会科学的论文更多收录于 SSCI，因此，在本节的分析中剔除了以上 4 个学科的论文数据。共得到焦点论文 795 022 篇。

经计算，各学科论文在不同引文窗下的绝对颠覆性指数 D_Z 和相对颠覆性指数 Rela_D_Z 分别如图 2 和图 3 所示，被引频次变化趋势见图 4(图中使用的均是各指标的平均值)。

结合图 2－图 4 可知：①在论文发表 4 年以后，不同学科的被引频次逐渐产生了较大差距，尤其 6 年后更加明显。同时，被引频次的不同带来了两种颠覆性指数 D_Z 和 Rela_D_Z 在不同引文窗下的明显差距。由此可见，引文窗会通过被引频次对颠覆性指数产生影响，所以，要取得更加接近论文真实水平的颠覆性指数，最好要在足够的时间窗下其被引频次趋于相对稳定之后。②图 4 中各学科被引频次的变化率小于两种颠覆性指数。这说明，通过时间的沉淀，各学科的被引频次会产生一定变化的同时，3 种类型(F 类、B 类和 R 类)施引文献的数量同样会产生差异，因此，引文窗会通过 3 种类型施引文献数量差异的累积，更直接地作用于颠覆性指数。

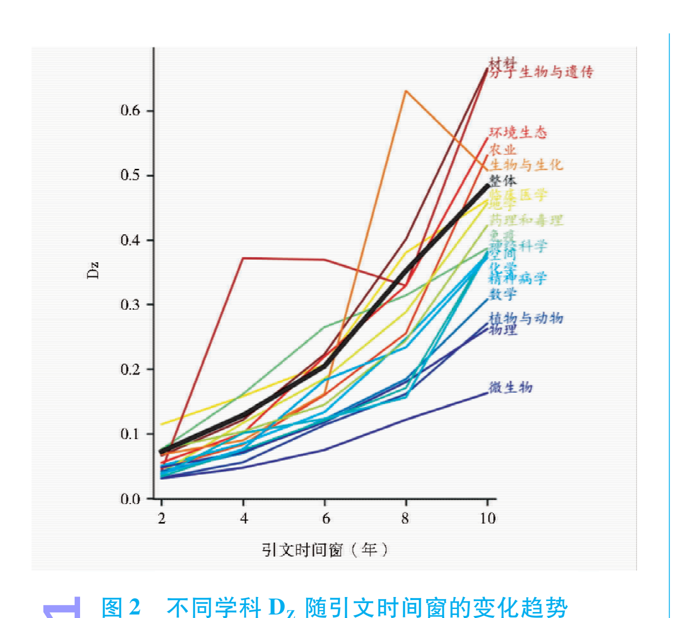


图 2　不同学科 D_Z 随引文时间窗的变化趋势

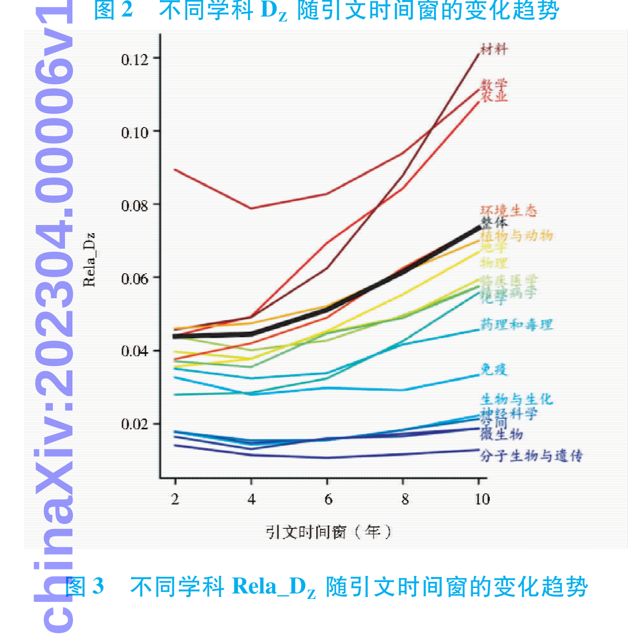


图 3　不同学科 $Rela_D_Z$ 随引文时间窗的变化趋势

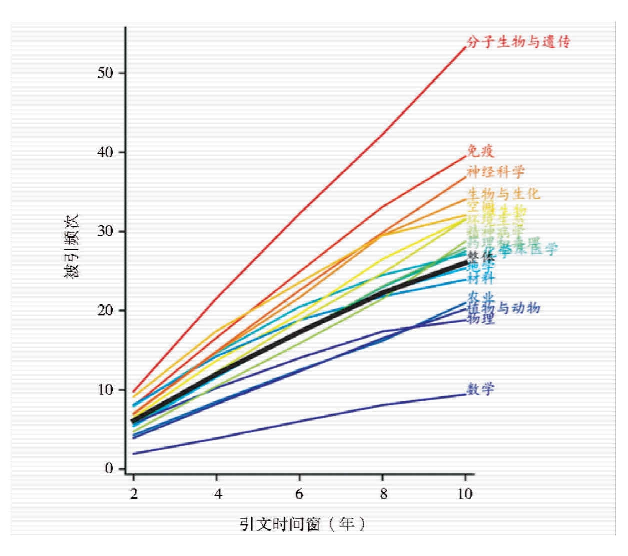


图 4　不同学科被引频次随引文时间窗的变化趋势

4.2　颠覆性指数的学科差异

根据经验，引文指标一般都会存在学科差异。但是根据算法的构造，颠覆性指数 D_Z 的分子和分母在量纲上存在差别，而 $Rela_D_Z$ 则不然。那么是否可以断定 D_Z 存在学科差异，而 $Rela_D_Z$ 不存在呢？本节以 2015 年 SCI 论文为例，通过两种方式探究两种颠覆性指数的学科差异，其中，计算颠覆性指数的引文窗统一为 2 年，焦点文献共 1 318 359 篇。

累积分布图可以描绘数据集中数据在各阶段的增长情况，从而帮助判断数据的分布特点。本节首先分别绘制了 D_Z 指数和 $Rela_D_Z$ 指数下各个学科的累积分布图，以供观察两个颠覆性指数的学科差异，见图 5。

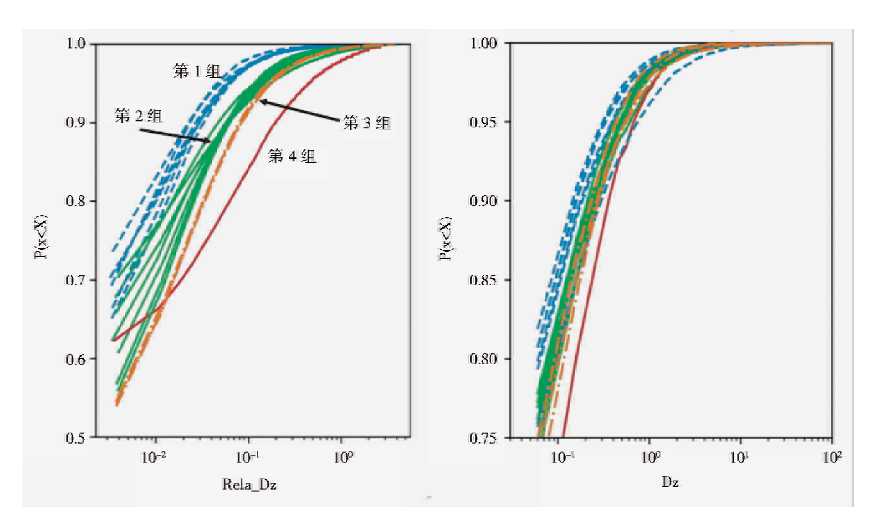


图 5　各学科的 $Rela_D_Z$ 指数和 D_Z 指数累积分布

刘小慧，沈哲思，廖宇，等.科研论文颠覆性指数的改进及其影响因素研究[J].图书情报工作,2020,64(24):84－91.

由图5的左图可知，累积函数曲线体现的学科差异非常明显，所有学科可被分为4组：第一组，包含分子生物与遗传、空间、神经科学、微生物、生物与生化、化学；第二组，包含精神病学、物理、植物与动物、地学、环境生态、药理和毒理、免疫；第三组，包含临床医学、材料科学、农业；第四组是数学。而在图5的右图中，整体而言各学科差异相对较小，但各学科在 D_Z 最小值处的论文比例有着较大差异，从75%到接近85%不等；此外，在累积函数曲线上，各学科也有不同。

从累积分布的角度，可以断定各学科在两种颠覆性指数下均存在分布差异。不过，累积分布图没有用量化的数据体现差异，因此，下面应用统计检验进一步进行分析。

首先，经K-S检验发现，2015年各学科的SCI论文在0.01显著性水平上均不服从正态分布，因此，对于颠覆性指数学科差异的分析只能用非参检验方法。本节应用K-S(Kolmogorov-Smirnov)检验和K-W(Kruscall-Wallis)检验两种方法进行颠覆性指数的学科差异检验。

(1)K-S检验。K-S检验是一种常用的非参数统计检验方法，用于检验两个样本数据的分布是否一致。本文通过Python的ks_2samp()函数进行验证，显著性水平取0.001，即如果P值小于0.001，则认为两个样本的分布特征存在差异。

(2)K-W检验。K-W检验可用于检验多个样本总体的分布是否存在显著差异。其本质是考察各组样本平均秩的差异，若平均秩存在差异，则几组样本分布存在差异。本方法同样选用0.001的显著水平。

表4　颠覆性指数学科差异的非参检验结果

指标	K-S检验	K-W检验
D_Z	99.26%	36.76%
Rela_D_Z	100.00%	43.38%

表4中给出的是颠覆性指数的两种算法在不同检验方法下，P值小于0.001的学科对比例，即存在学科差异的学科对比例。由表4可知，两种检验方法均可以说明颠覆性指数 D_Z 和 Rela_D_Z 在0.001显著性水平上存在学科差异。

4.3　文献类型

Article和Review是科学研究最为常见的两种文献类型。一般认为，Article论文是在理论或方法等方面具有原创性的研究，通常能产生一些新的发现，揭示人类认知范围内新的科学问题；Review论文是对过去一段时间内某主题领域科学研究发展的梳理与总结，一般不含有原创性的科学知识。据经验判断，一般认为Article论文的颠覆性更高。那么，文献类型是否会影响颠覆性指数？

本节以2015年SCI世界论文为例探索这一问题。其中Article论文有1 241 475篇，Review论文有76 884篇。表5给出了两种类型的论文在两个颠覆性指数下的均值和置信区间，其中置信区间的计算应用了Bootstrapping算法。计算过程中，Article论文随机抽取5 000次，每次50万个；Review论文随机抽取1 000次，每次抽取1万个；均取95%置信度。

表5　Review论文和Article论文在 D_Z 和 Rela_D_Z 算法下的均值

文献类型	D_Z	Rela_D_Z
Reviews	0.983(0.76,1.28)	0.054(0.047,0.057)
Articles	0.541(0.49,0.60)	0.137(0.132,0.139)

由表5可知：①从绝对颠覆性 D_Z 看，Review论文比Article论文颠覆性指数高。一方面，这是由于两种类型的文献其颠覆性指数不符合正态分布，且Review论文样本数量明显小于Article；另一方面，据前期研究，颠覆性指数 D_Z 与被引频次在一定程度上是正相关关系，而两类型的论文篇均被引频次分别为：Article 5.66次，Review 12.23次，具有较大差异。虽然 D_Z 指数高于Article论文，但是Review论文的这种特点主要是由被引频次高所致，而非在科学创新性上高于Article论文，换言之，研究性质的差异决定了颠覆性指数在不同文献类型之间不具有可比性。②从相对颠覆性Rela_D_Z 看，Article论文的颠覆性程度更高，这体现的是两种文献类型的本质差异。在算法构成上，两种文献类型的本质导致Article论文具有相对更多的F类引文，使得相对颠覆程度更高。因此可以说明，相比Review，Article的原创性更高。③无论从绝对角度还是相对角度，文献类型确实是影响科研论文颠覆性指数的因素。

5　讨论与总结

颠覆性指数从施引文献的角度，度量焦点论文替代参考文献的程度，以衡量其原创性。L. Wu等的指标算法D表达的是一种相对性概念，思想巧妙，但是在数学上存在不一致性，从而可能导致在应用中产生有误导性的结论。基于该问题，本文在遵从原思想的基础上，提出了新的颠覆性指数算法Rela_D_Z，既解决了原算法的不一致性问题，又在改进过程中提供了一个绝对性角度的算法 D_Z，可帮助更加全面地衡量科研论

文的颠覆性。

此外,每个指标都有其影响因素和应用特征,为帮助更全面认识、更合理应用改进的颠覆性指数,本文第 4 节考虑一般引文类指标最常见的特点,从引文窗、学科差异、文献类型 3 个角度,探索绝对颠覆性指数 D_Z 和相对颠覆性指数 Rela_D_Z 的影响因素。从结论看,3 个因素均会影响颠覆性指数;但从根本上看,这些因素产生作用的机理均是由颠覆性指数与被引频次之间的不独立关系所致,后续将对此开展详细研究。

改进的颠覆性指数算法,具有一般引文评价指标的局限性,比如无法区分引用态度带来的影响、受引文时间窗影响、零被引论文无法评价等;但是也具有一般引文指标不具备的不易操纵等优点。整体而言,颠覆性指数是科研评价方法中的一种进步。此外,在研究方法上,本文希望为计量指标不一致性问题的解决提供一种思路;同时,希望为科研评价提供一个更加科学合理的定量指标,以正确揭示科学活动规律,帮助相关部门更公正、高效地进行科研管理。

参考文献:

[1] 李志民. 中国科技评价改革:如何演变? 趋势如何? [EB/OL]. [2019 - 08 - 29] . https://mp. weixin. qq. com/s/if_RXwKGaBqfppWGQ-M9Rw.
[2] UZZI B, MUKHERJEE S. A typical combinations and scientific impact[J]. Science, 2013, 342(6157): 468 -472.
[3] LEE Y, WALSH J P, WANG J. Creativity in scientific teams: unpacking novelty and impact[J]. Research policy, 2015,44(3): 684 -697.
[4] WANG J, VEUGELERS R, STEPHAN P. Bias against novelty in science: a cautionary tale for users of bibliometric indicators[J]. Research policy, 2017(46): 1416 -1436.
[5] HE Y, LUO J. Novelty, conventionality, and value of invention [M]//Design compyting and cognition'16. Cham :Springer International Publishing, 2017;23 -38.
[6] BOYACK K, KLAVANS R. Is the most innovative research being funded? [EB/OL]. [2020 - 12 - 08] https://www. elsevier. com/__data/assets/pdf_file/0005/479426/boyack_sti_final. pdf.
[7] KLAVANS R, BOYACK K. Towards the development of an article-level indicator of conformity, innovation and deviation[C]//Proceedings of 18th international conference on science and technology indicators. Berlin: STI, 2013: 185 -192.
[8] CARAYOL N, LAHATTE A, LLOPIS O. Novelty in science presented at STI 2017 [EB/OL]. [2020 -12 -08] https://digital. csic. es/bitstream/10261/162613/1/novelty. pdf.
[9] 王艳艳,张均胜,乔晓东,等. 基于问题 - 方法矩阵的文献新颖性评估方法[J/OL]. 情报理论与实践:1 - 13. [2020 - 11 - 03]. http://kns. cnki. net/kcms/detail/11. 1762. G3. 20201030. 1621. 002. html.
[10] 逯万辉, 谭宗颖. 学术成果主题新颖性测度方法研究——基于 Doc2Vec 和 HMM 算法[J]. 数据分析与知识发现, 2018,2(3):22 -29.
[11] 沈阳. 一种基于关键词的创新度评价方法[J]. 情报理论与实践, 2007(1):125 -127.
[12] 杨建林, 钱玲飞. 基于关键词对逆文档频率的主题新颖度度量方法[J]. 情报理论与实践, 2013,36(3):99 -102.
[13] MISHRA S, TORVIK V. Quantifying conceptual novelty in the biomedical literature[J]. D-Lib magazine, 2016,22: 9 -10.
[14] PACKALEN M, BHATTACHARYA J. Cities and ideas[EB/OL]. [2020 -10 -16]. http://www. nber. org/papers /w20921.
[15] CALLAWAY E. Young scientists lead the way on fresh ideas[J]. Nature, 2015,7539(518): 283.
[16] TRAPIDO D. How novelty in knowledge earns recognition: the role of consistent identities[J]. Research policy, 2015,8(44): 1488 -1500.
[17] FUNK R, SMITH J. A dynamic network measure of technological change[J]. Management science, 2017,63(3): 791 -817.
[18] WU L, WANG D, EVANS J. Large teams develop and small teams disrupt science and technology[J]. Nature, 2019, 566(7744): 378 -382.
[19] BORNMANN L, TEKLES A. Disruptive papers published in Scientometrics[J]. Scientometrics, 2019,120(1): 331 -336.
[20] BORNMANN L, TEKLES A. Disruption index depends on length of citation window[J]. EI profesional de la Informacion, 2019,28(2):1 -2.
[21] BORNMANN L, DEVARAKONDA S, TEKLES A, et al. Do disruption index indicators measure what they propose to measure? The comparison of several indicator variants with assessments by peers [EB/OL]. [2020 - 03 - 20]. https://arxiv. org/abs/1911. 08775.
[22] BORNMANN L, DEVARAKONDA S, TEKLES A, et al. Disruptive papers published in Scientometrics: meaningful results by using an improved variant of the disruption index originally proposed by Wu, Wang, and Evans (2019)[J]. Scientometrics, 2020,123(2): 1149 -1155.
[23] WU Q, YAN Z. Solo citations, duet citations, and prelude citations: new measures of the disruption of academic papers[EB/OL]. [2020 -02 -21]. https://www. researchgate. net/publication/332977541_ Solo_citations_duet_citations_and_prelude_citations_New_measures_of_the_disruption_of_academic_papers.
[24] 认知相符理论[EB/OL]. [2020 -02 -21]. https://wiki. mbalib. com/wiki/% E8% AE% A4% E7% 9F% A5% E7% 9B% B8% E7% AC% A6% E7% 90% 86% E8% AE% BA.
[25] ROUSSEAU R. The F-measure for research priority[J]. Journal of data and information science, 2018(3): 1 -18.
[26] WALTMAN L, VAN ECK N. The inconsistency of the h-index [J]. Journal of the American Society for Information Science and

Technology, 2012,63(2): 406－415.

[27] EGGHE L, ROUSSEAU R. A general frame-work for relative impact indicators[J]. Canadian journal of information and library science-revue canadienne des sciences del information et de bibliotheconomie, 2002,27(1): 29－48.

[28] WU S, WU Q. A confusing definition of disruption[EB/OL]. [2020－12－29]. https://osf.io/preprints/socarxiv/d3wpk/.

作者贡献说明：

刘小慧：设计论文结构，采集与处理数据，撰写初稿；
沈哲思：指导论文结构，修改论文；
廖宇：处理数据，可视化呈现，修改论文；
杨立英：指导论文结构，修改论文。

The Research about the Improved Disruption Index and Its Influencing Factors

Liu Xiaohui[1,2] Shen Zhesi[1] Liao Yu[1,2] Yang Liying[1,2]

[1] National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Bejing 100190

[2] Department of Library, Information and Archives Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

Abstract: [**Purpose/significance**] To solve the inconsistency of disruption index D, and investigate the affecting factors of disruption index in specific applications. [**Method/process**] This paper pointed out the inconsistency problem of disruption index D, and then proposed Rela_D_Z and D_Z as alternatives to solve the inconsistency problem of D. Finally, the factors affecting Rela_D_Z and D_Z were studied from the perspective of citation time window, discipline difference and document types. [**Result/conclusion**] Rela_D_Z avoids the inconsistency problem by solving the non-monotonic problem of D with respect to N_R. D_Z overcomes the non-strict monotonic problem of D with respect to N_F and N_B. Taking into account the relative and absolute disruption index will result in more reasonable results. In addition, Rela_D_Z and D_Z are influenced by citation time window, disciplines and document types. Necessary processing steps are needed when applying the disruption index.

Keywords: disruption index creativity inconsistency scientific evaluation citation analysis